

Министерство природных ресурсов
и охраны окружающей среды Республики Беларусь
Ministry of Natural Resources and
Environment Protection



Национальная академия
наук Беларуси
National Academy of
Sciences of Belarus

ISSN 1810-9810

П Р

ПРИРОДНЫЕ
РЕСУРСЫ

№ 1 2012

Отдельный оттиск

УДК 502.51+504.5

Д.М. Ерошина, А.Л. Демидов, В.В. Ходин

ВЛИЯНИЕ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ПОЛИГОНОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ОТРАБОТАННЫХ КАРЬЕРАХ НА ТЕРРИТОРИИ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

На примерах крупных объектов по захоронению отходов производства, расположенных в карьерах (полигоны промышленных отходов РУП «МТЗ», ОАО «МПКО» и УП «Экорес» – «Прудиче», поля фильтрации МСА), анализируется влияние отходов на загрязнение подземных вод и доказываются целесообразность использования отходов производства для рекультивации карьеров. При этом без ущерба для природной среды решаются две проблемы: размещение отходов и рекультивация горных выработок. При размещении отходов в карьерах не требуется создание дорогостоящих искусственных противофильтрационных экранов, так как отходы производства, в отличие от илов полей фильтрации, при захоронении способны к самогидроизоляции.

Промышленное и гражданское строительство неизбежно связано с добычей нерудных полезных ископаемых, в результате чего образуется большое количество отработанных карьерных выемок.

Их наличие негативно влияет на окружающую природную среду: нарушается рельеф, меняются гидрологический и гидрогеологический режимы, происходит загрязнение недр, наблюдаются ландшафтные изменения и пр.

В то же время особо остро стоит проблема размещения отходов производства и потребления, количество которых из года в год возрастает. Рост объемов образующихся отходов ведет к увеличению изымаемых из хозяйственного использования земель для размещения на них полигонов хранения и захоронения отходов. С этой точки зрения отработанные карьеры после добычи полезных ископаемых представляют большой интерес.

При размещении отходов в карьерах одновременно решаются проблемы размещения отходов и рекультивации горных выработок. Кроме того, размещение отходов в карьерах считается экономически оправданным, в связи с чем широко применяется в мировой практике. Беларусь не является исключением – около половины полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) и значительная часть объектов с промышленными отходами располагаются в карьерах либо обустроены на карьерных выемках.

В 2006 году вышел нормативный документ [10], разрешающий применение отходов для рекультивации карьерных территорий с целью возвращения их для хозяйственного использования. При этом допускается засыпка карьеров и других искусственно созданных полостей твердыми коммунальными отходами и промышленными отходами не более 3–4-го классов опасности.

Особенности загрязнения подземных вод в зонах влияния полигонов ТКО Беларуси, в т. ч. обустроенных в карьерах, рассматривались в [2] и других работах. Сведения о воздействии полигонов промотходов, расположенных в карьерах, на природную среду весьма скудны, отчасти в связи с тем, что не на всех объектах ведется мониторинг за ее компонентами.

Настоящая работа посвящена изучению влияния на поверхностные и подземные воды полигонов промышленных отходов, размещенных в карьерах, на примере крупных объектов этого типа в Республике Беларусь. В карьере «Королищевичи» были обустроены в разные годы 2 полигона промотходов РУП «Минский тракторный завод» (РУП «МТЗ») и ОАО «Минское производственное кожевенное объединение» (ОАО «МПКО»), а также поля фильтрации Минской станции аэрации (МСА). В карьере «Прудиче» обосновался одноименный полигон пром-отходов, эксплуатируемый УП «Экорес».

Комплекс объектов с отходами «Королищевичи»

Карьер «Королищевичи», оставшийся после разработки месторождения песчано-гравийных смесей, расположен в 5 км к Ю-ЮВ от г. Минска, между д. Новый Двор и д. Королищевичи. Общая площадь его около 32 га. Административными решениями местных властей в 1978 году восточная часть карьера (~18 га) была передана МСА для размещения осадков сточных вод г. Минска, западная часть закреплена за РУП «МТЗ» для захоронения промотходов 3–4-го клас-

сов опасности. В 1991 году северная часть карьера (3,5 га) передана ОАО «МПКО» для захоронения отходов кожевенного производства (рисунок 1).

Карьер «Королищевичи» приурочен к области развития флювиогляциальных надморенных образований (fllsz), представленных песчано-гравийными породами, которые, являясь полезным ископаемым, в настоящее время выработаны, а образовавшийся карьер заполняется отходами (рисунок 2). Песчано-гравийные породы залегали в виде линзы и на большей части территории перекрывались озерно-аллювиальными отложениями (laIIprz). Последние представлены тонкозернистыми песками и глинами, которые в коренном залегании сохранились лишь за пределами карьера.

К флювиогляциальным надморенным образованиям приурочен первый от поверхности го-

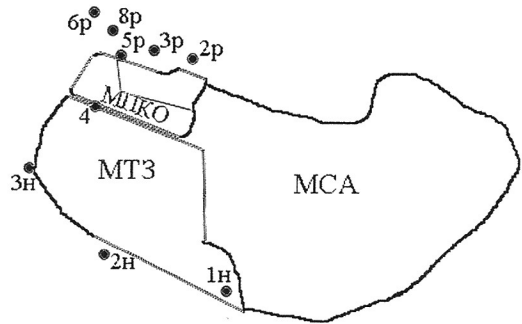


Рисунок 1 – Картосхема комплекса объектов с отходами «Королищевичи» с указанием наблюдательных скважин.

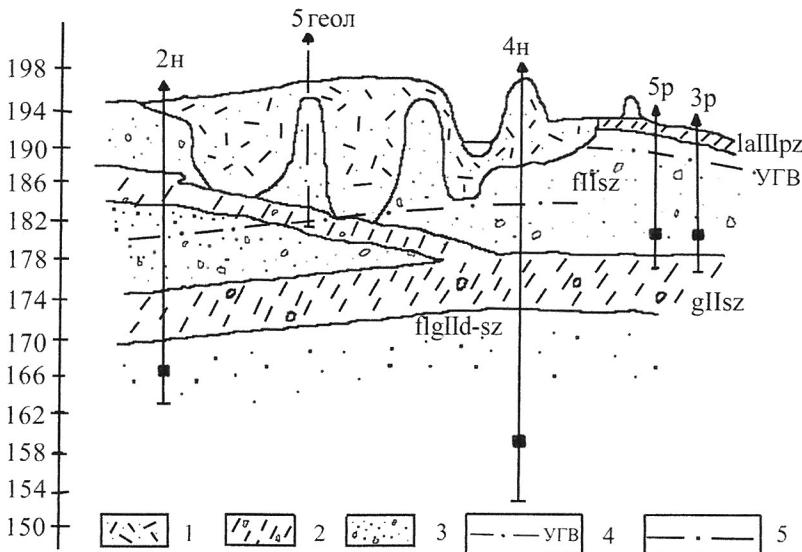


Рисунок 2 – Геологический разрез полигона РУП «МТЗ».

1 – насыпной грунт (отходы); 2 – супесь моренная с гравием и галькой; 3 – песчаные отложения с гравием и валунами; 4 – уровень грунтовых вод; 5 – высота напора горизонта подземных вод.

ризонт подземных вод (грунтовой), глубина залегания которого на рассматриваемой территории составляет 4–15 м (в зависимости от рельефа). Грунтовые воды при разведке месторождения были встречены несколькими скважинами в подошве песчано-гравийных пород и в подстилающих песчаных отложениях. Воды слабонапорные, высота напора до 1 м. На полигоне ОАО «МПКО» грунтовые воды являются предметом локального мониторинга. В не заполненной отходами части карьера РУП «МТЗ» (2,4 га) эти воды накапливаются на дне, образуя открытый водоем глубиной 1,5–2,0 м.

Флювиогляциальные

образования подстилаются моренными супесями и суглинками сожского оледенения (lgllsz) общей мощностью от 5 до 17 м; имеются песчаные линзы, включающие воды спорадического распространения.

Второй от поверхности горизонт подземных вод (пластовый) приурочен к днепровско-сожскому водоносному комплексу, перекрытому толщей моренных отложений. Глубина залегания комплекса 20,4–25,7 м, высота напора вод 5–11 м. Направление подземного потока южное, юго-западное и западное, в сторону р. Свислочи, являющейся основной дренажной поверхностных и подземных вод. Воды этого горизонта являются объектом локального мониторинга на полигоне РУП «МТЗ» и на полях фильтрации МСА. Мониторинг осуществляет РУП «МТЗ».

Вследствие того что иловые площадки изучались только попутно при обследовании полигона промтоходов РУП «МТЗ», результаты исследований обоих объектов рассматриваются параллельно, тем более что при этом отчетливо обнаруживается специфика загрязнения окружающей среды от каждого из них.

Полигон промтоходов РУП «МТЗ» эксплуатируется с 1983 года. Общая площадь 10,9 га, занято отходами 8,5 га, на западе полигона часть карьера (2,4 га) до уровня 1,5–2,0 м заполнена водой.

За время эксплуатации полигона накопилось порядка 620–670 тыс. м³ отходов. Наиболее многотоннажный отход – отработанные формовочные смеси – составляют около 70 % общей массы отходов. На втором месте по объему – лом огнеупорных изделий производства литейных

изделий из чугуна и стали – в сумме 15 %. Другие твердые отходы 4-го класса опасности металлургического производства (шлаки ваграночный, сталеплавильный, чугунного производства, железосодержащая пыль и пр.) составляют около 11 % общей массы. Твердые отходы 3-го класса и все пастообразные отходы 3-го и 4-го классов опасности составляют не более 4 % общего объема захороняемых отходов.

Твердые отходы металлургического производства, такие как отработанные формовочные смеси (ОФС), лом огнеупорных изделий, шлаки, состоят главным образом из кварца (SiO_2) и полевых шпатов ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$), которые являются химически индифферентными и с трудом вступают в реакции взаимодействия. Большинство из них в воде нерастворимы и сохраняют свое агрегатное состояние. В этих отходах присутствуют также водорастворимые вещества, такие как оксиды железа, соединения кальция, магния и прочие вещества, характерные для природных грунтов.

Потенциальную опасность для окружающей среды, в первую очередь для поверхностных и подземных вод должны представлять водорастворимые соединения, а также подвижные формы микроэлементов, входящих в состав захороняемых отходов. Эта опасность оценена по результатам изучения водорастворимых солей, валового содержания микроэлементов в отходах, в водных и солянокислых вытяжках из отходов.

Водорастворимые соли. Средний состав водорастворимых солей из отходов металлургического производства и из илов полей фильтрации МСА приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Средние показатели химического состава водных вытяжек из отходов РУП «МТЗ» и илов МСА

Виды отходов	Натрий Na^+	Калий K^+	Аммоний NH_4	Кальций Ca^{++}	Магний Mg^{++}	Железо $\text{Fe}_{\text{общ}}$	Хлориды Cl^-
	мг/100 г						
Твердые отходы РУП «МТЗ»	90,4	3	2	26	6,4	0,8	17
Илы полей фильтрации	114,2	67,6	4,2	1414,4	64,8	10,9	1053,6

Окончание таблицы 1

Виды отходов	Сульфаты SO ₄	Гидрокарбонаты HCO ₃	Нитраты NO ₃	Сухой остаток	Окисля- емость мгО ₂ /дм ³	рН
	мг/100 г					
Твердые отходы РУП «МТЗ»	77	19,5	2,2	376	7,8	8,06
Илы полей филътрации	417,2	2440	70,4	5600	22,08	7,85

Как видим, содержание водорастворимых солей в илах в несколько раз выше, чем в твердых отходах. Различаются также соотношения концентраций отдельных компонентов, что видно из рядов приоритетности:

твердые отходы: катионы – $\text{Na} - \text{Ca} - \text{Mg} - \text{K} - \text{NH}_4 - \text{Fe}$; анионы – $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{NO}_3$;

илы: катионы – $\text{Ca} - \text{Na} - \text{K} - \text{Mg} - \text{Fe} - \text{NH}_4$; анионы – $\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{NO}_3$.

В составе водной вытяжки из твердых отходов приоритетными являются $\text{Na} - \text{Ca}$ и $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3$, из илов – $\text{Ca} - \text{Na}$ и $\text{HCO}_3 - \text{Cl}$.

Микроэлементы. Валовые содержания в 7 видах твердых отходов РУП «МТЗ» определялись в 2008 году Республиканским научно-практическим центром гигиены (РНПЦГ), а также различными исследователями в пробах, отобранных на полигоне в разные годы (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, содержание микроэлементов в илах полей фильтрации, кроме Co и Mn , гораздо выше, чем в отходах металлургического производства.

По потенциальной опасности для окружающей среды микроэлементы, содержащиеся в отходах полигона, в ряду приоритетности, рассчитанному по отношению содержания к кларку для почв Беларуси, располагаются следующим образом:

$$\frac{\text{Mn}}{19,9} > \frac{\text{Cu}}{7,4} > \frac{\text{Ni}}{3,4} > \frac{\text{Cr}}{3,3} > \frac{\text{Zn}}{1,7} > \frac{\text{V}}{1,6} > \frac{\text{Co}}{1,5} > \frac{\text{Pb}}{1,3}.$$

Таблица 2 – Содержание микроэлементов в отходах полигона РУП «МТЗ» и илах МСА, мг/кг

Показатели	Ni	Co	V	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn
Средневзвешенное содержание по 7 видам отходов	90,3	–	–	2084	134,1	14,3	39	23,7
Среднее содержание в отходах по 11 пробам	64,5	9,1	55	4925	686	15,7	96	59
Среднее содержание в илах по 5 пробам	700	1	100	1500	7000	300	3000	5000
ПДК для почв по Инструкции 2.1.7.11-12-5-2004	–	–	150	1500	–	32	–	–
ОДК для почв [4] по Гигиеническим нормативам 2.1.7.12-1-2004 [1]	20	20	–	–	100	–	33	55
Среднее содержание в почвах Беларуси	20	–	–	247	36	12	13	35

В этом ряду содержания первых четырех микроэлементов (Mn, Cu, Ni, Cr) превышают ПДК для почв в 3 раза и более. Остальные из определяемых микроэлементов по содержанию в отходах не превышают ПДК для почв.

Микроэлементы, содержащиеся в илах полей фильтрации, располагаются в ряду приоритетности несколько иначе:

$$\frac{\text{Cu}}{231} > \frac{\text{Zn}}{142} > \frac{\text{Ni}}{35} > \frac{\text{Cr}}{35} > \frac{\text{Pb}}{25} > \frac{\text{Mn}}{6,1} > \frac{\text{V}}{2,9} > \frac{\text{Co}}{0,2}.$$

В илах приоритетными загрязнителями (в количественном отношении) выступают медь и цинк, затем никель и хром; марганец по сравнению с твердыми отходами присутствует в незначительных количествах.

Микроэлементы. Подвижные формы. Опасность для природной среды представляют подвижные формы микроэлементов, которые способны вымываться из отходов и мигрировать в грунты, в поверхностные и подземные воды. О способности миграции микроэлементов из отходов дают представление результаты анализов водных вытяжек (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание микроэлементов в водных вытяжках из отходов и илов, мкг/100 г

Показатели	Ni	Co	V	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn	B	Ba	Fe	Cd
Среднее содержание в отходах (7 проб)	201	–	–	482	82	66,3	76	152	13,3	241	170	0,5
Среднее содержание в илах	8315	–	–	521	579	52	5245	2665	78	–	390	5,6

В ряду приоритетности, рассчитанному по отношению содержания к нормативам веществ в питьевой воде [8], микроэлементы располагаются следующим образом:

$$\frac{\text{Pb}}{2,21} > \frac{\text{Cr}}{1,68} > \frac{\text{Mn}}{0,96} > \frac{\text{Ni}}{2,01} > \frac{\text{Cd}}{0,5} > \frac{\text{Zn}}{0,03} > \frac{\text{Cu}}{0,08}.$$

Этот ряд в основном соответствует геохимической подвижности микроэлементов [7], за исключением никеля, повышенная миграция которого в водную среду из отходов РУП «МТЗ», очевидно, обусловлена высокими содержаниями его в исходном материале.

В водной вытяжке из илов обнаруживаются концентрации Ni, Cr, Cu, Zn, в несколько раз превышающие концентрации этих элементов в водных вытяжках из твердых отходов.

Анализ миграции микроэлементов из образцов отходов в дистиллированную воду, подкисленную соляной кислотой до pH 4,3 проводился ГУ «РНПЦ Гигиены». Результаты показали, что из разных видов отходов элементы мигрируют в солянокислый раствор весьма неравномерно:

диапазон миграции варьирует от долей процента до 12,0–14,3 %. Наибольшая миграционная способность отмечается для меди и цинка. В среднем доля подвижности микроэлементов невелика.

Миграционная способность микроэлементов из отходов в щелочной среде по сравнению с кислой уменьшается в несколько раз, а то и на порядок, и сопоставима со способностью элементов мигрировать в нейтральной среде. Для илов такая закономерность не прослеживается.

Отходы тракторного завода формируют слабощелочную среду – pH 7,9–8,9 (среднее 8,06 – таблица 1), что не способствует увеличению миграционной подвижности микроэлементов и поступлению их в природную среду.

Органические соединения. На полигоне в смеси шлаков идентифицированы в небольших количествах фенол (7,3 мг/кг) и нафталин (2,6 мг/кг), а в шлаке ваграночном – фенантрен (0,014 мг/кг); на порядок выше в них содержание нефтепродуктов (86 мг/кг). Значительные содержания нефтепродуктов обнаружены в отходах формовочных смесей (ОФС).

Наиболее высокий уровень загрязнения органическими соединениями установлен в илах полей фильтрации. Общее содержание органических загрязнителей здесь достигает 46 г/кг; представлены они преимущественно нефтепродуктами.

Следует отметить, что органические вещества способны образовывать с микроэлементами комплексные соединения, что способствует снижению миграционной активности, а также токсичности микроэлементов [5, 7].

О влиянии отходов на загрязнение поверхностных и подземных вод можно судить по результатам мониторинга за последние 10–12 лет.

Поверхностные воды. Как отмечалось выше, в западной части карьера на территории полигона РУП «МТЗ» (2,4 га) за счет атмосферных осадков и грунтовых вод образовался открытый водоем глубиной до 1,5–2,0 м.

Анализы воды показали, что в 1997 и 2003 годах в отобранных пробах концентрации натрия, аммония, сухого остатка, а также значения окисляемости превышали ПДК [8]. В 2007 году концентрации всех этих ингредиентов, кроме окисляемости, стали меньше ПДК, но оставались высокими.

Из микроэлементов (тяжелых металлов) в пробах водоема обнаруживаются превышающие ПДК содержания Ni, Mn, Pb, Ba. За этот период отмечается заметное снижение концентраций только Cr и Mo.

Средний суммарный показатель загрязнения этих вод равен 5,62.

Высокий уровень загрязнения поверхностных вод обусловлен непосредственным контактом их с отходами и фильтратными водами из отходов. Снижение концентраций поллютантов в последние годы объясняется складированием отходов в восточной части полигона, удаленной от водоема.

Подземные воды. Для отслеживания качества пластовых напорных вод днепровско-сожского межморенного комплекса с южной и западной сторон полигона оборудованы три наблюдательные скважины, четвертая скважина (фоновая) пробурена на севере площадки – на разделяющей дамбе между полигонами РУП «МТЗ» и ОАО «МПКО».

Анализы водных проб по наблюдательным скважинам показали, что за 12 лет осуществления контроля качество их не отвечало требованиям СанПиН [8]. При этом характер и интенсивность загрязнения подземных вод существенно различаются в наблюдательных скважинах (таблица 4):

- воды из скважины 2 характеризуются самыми низкими концентрациями большинства ингредиентов. Однако некоторые показатели – содержание железа, нефтепродуктов, бария, общая жесткость и окисляемость – превышают ПДК, хотя и ниже по сравнению с другими скважинами. Средний суммарный показатель загрязнения вод из этой скважины равен 0,48;

- в пробах воды из скважины 1 обнаруживаются весьма высокие, превышающие ПДК концентрации натрия, железа, сухого остатка, бария, кадмия, значения окисляемости, а также жесткости. Средний суммарный показатель загрязнения вод за период наблюдений составляет 0,83;

- в подземных водах из скважины 3 по сравнению с водами из скважины 1 резко возрастают концентрации натрия, железа, сухого остатка, кадмия и значения окисляемости, а также отмечается весьма высокое загрязнение аммонийное, нефтепродуктами, СПАВ, фенолами и др. В то же время снижены содержания хлора, общая жесткость. Средний суммарный показатель загрязнения вод из этой скважины составляет 3,92.

Загрязнение напорных вод из скважины 3 большинством компонентов сопоставимо с загрязнением поверхностных вод из западной части карьера, вблизи которого расположена эта скважина: в подземных и в поверхностных водах значительно повышены концентрации Ni, Mn, Cr, Pb, значения которых, как правило, превышают ПДК для этих ингредиентов. В общих чертах эти закономерности отражает график, построенный по средним значениям ингредиентов за весь период мониторинга с 1997 по 2008 год (рисунок 3). На графике представлены не концентрации ингредиентов, а их отношения к ПДК, т. е. значение 1 соответствует уровню ПДК.

Таблица 4 – Среднее содержание ингредиентов за период с 1997 по 2008 год в подземных и поверхностных водах полигона РУП «МТЗ»

№ пункта отбора пробы	Результаты лабораторного контроля основных показателей загрязнения, мкг/л										
	Na	NH ₄	Mg	Fe _{общ}	Cl	Сухой остаток	Ni	Mn	Cr	Pb	Cu
Скв. 1	290	0,62	90,5	2,54	333,9	1358,8	15,8	265,5	20,1	24,1	14
Скв. 2	65,3	1,1	43,3	5,2	108,3	583	11,8	359,8	14,9	28,5	8,5
Скв. 3	485,5	39,1	14,4	12,6	215	2046,9	68,2	655,95	157,9	72,7	83,6
ПДК	200	2		0,3	350	1000	100	500	500	30	1000

Окончание таблицы 4

№ пункта отбора пробы	Результаты лабораторного контроля основных показателей загрязнения, мг/л							
	Zn	Cd	Ba	Окисляемость, мгО ₂ / дм ³	Общая жесткость, моль/дм ³ 10 ⁻³	Нефте-продукты	Фенолы	СПАВ
Скв. 1	47,9	1,8	202,3	8,3	13,15	0,151	0,014	0,365
Скв. 2	28,9	0,8	153,8	5,3	8,7	0,483	0,009	0,054
Скв. 3	136,3	6,4	202	157,6	4,7	5,915	0,312	1,062
ПДК	5000	1	100	5	7	0,1	0,25	0,5

По нашему мнению, интенсивность и характер загрязнения подземных вод обусловлены близостью скважин к различным источникам загрязнения, какими являются илы полей фильтрации (скважина 1), твердые промышленные отходы тракторного завода (скважина 2), поверхностные воды, насыщаемые водорастворимыми компонентами из отходов в западной части карьера (скважина 3).

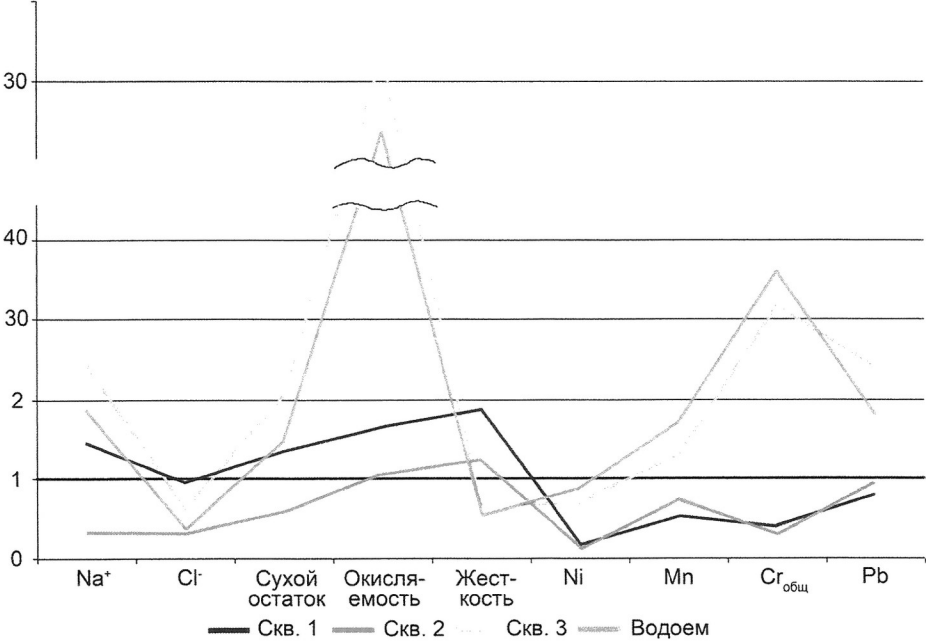


Рисунок 3 – Среднее содержание ингредиентов за период с 1997 по 2008 год в подземных и поверхностных водах полигона РУП «МТЗ».

Резюме. • Потенциальную опасность от твердых отходов для окружающей среды, в первую очередь для поверхностных и подземных вод, представляют водорастворимые соединения и подвижные формы микроэлементов из этих отходов.

• Из микроэлементов в отходах присутствуют в количествах, превышающих ПДК для почв, Mn, Cu, Ni, Cr; содержания Zn, V, Co, Pb не превышают ПДК для почв.

По результатам водных вытяжек в ряду приоритетности показателей, рассчитанному по отношению содержания их к ПДК, микроэлементы располагаются следующим образом: Pb–Cr–Mn–Ni–Co–Zn–Cu. Этот ряд соответствует в основном геохимической подвижности микроэлементов в природных водах [7].

Д.М. Ерошина, А.Л. Демидов, В.В. Ходин

• Содержание большинства водорастворимых солей и микроэлементов в илах в несколько раз выше, чем в твердых отходах. В составе водной вытяжки из твердых отходов приоритетными являются $\text{Na} - \text{Ca}$ и $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3$, из илов – $\text{Ca} - \text{Na}$ и $\text{HCO}_3 - \text{Cl}$.

Подтверждено, что миграционная способность микроэлементов увеличивается в кислой среде, а в щелочной среде она в несколько раз меньше и сопоставима с нейтральной. Отходы формируют слабощелочную среду (рН 7,9–8,9), которая не способствует миграционной подвижности микроэлементов и поступлению их в природную среду. При ограниченном доступе воды в толщу твердых отходов миграция из них поллютантов минимизируется и со временем прекращается. Это подтверждают результаты мониторинга подземных вод по скважине 2, в которой отслеживаются подземные воды из части карьера, заполненной отходами. В данном случае изолирующая роль отходов обусловлена минеральным (в основном алюмосиликатным) составом отходов, идентичным природным грунтам, в которых преобладают размеры мелких фракций и присутствует глинистое вещество. Глины, как известно, обладают хорошими сорбционными свойствами – способностью связывать минеральные загрязнители и микроэлементы (в т. ч. тяжелые металлы). Кроме того, по мере уплотнения отходов уменьшается пористость их массы. Наличие в составе отходов соляной, угольной и фосфорной кислот, а также незначительных примесей оксидов железа, соединений кальция, магния и прочих веществ, присущих природным грунтам, обеспечивает образование в поровом пространстве малорастворимых соединений (типа сульфатов, карбонатов, фосфатов), вследствие чего происходит коагуляция (зарастание, цементирование) пор. В результате водопроницаемость толщи отходов ухудшается, что является причиной их самогидроизоляции. Эти свойства отходов и процессы, протекающие при их захоронении, позволяют использовать твердые отходы завода в качестве отсыпного почного материала вместо природных грунтов при рекультивации карьеров. Для этих целей могут быть использованы все твердые отходы 4-го класса опасности и без класса опасности.

• Присутствием большого количества органических веществ в илах полей фильтрации можно объяснить относительно низкие концентрации микрокомпонентов в подземных водах, контролируемых скважиной 1. Это обусловлено способностью микроэлементов образовывать комплексные соединения с органикой, вследствие чего они теряют свою мобильность [6]. И это несмотря на то, что содержания микроэлементов в илах значительно выше, чем в отходах. В то же время водорастворимые соли поступают из илов в подземные воды в максимальных количествах и пропорционально концентрации их в илах.

Полигон ОАО «МПКО» примыкает с севера к полигону РУП «МТЗ» и отделен от него дамбой высотой 8–10 м, состоящей из производственных отходов тракторного завода.

Общая площадь полигона 3,5 га, площадь рабочей зоны 2,6 га, в т. ч. старой рабочей карты (заполненной отходами) 0,86 га, новой рабочей карты, обустроенной противofильтрационным экраном, 1,74 га.

Полигон эксплуатируется с 1991 года, расширен и обустроен в 2002 году.

На полигоне, захороняются хромсодержащие отходы кожевенного производства: главным образом ил очистных сооружений (около 1200 т/год), в значительно меньшем количестве зола после сжигания отходов производства. Объем накопившихся отходов на старой карте порядка 35 тыс. м³, на новой – около 46 тыс. м³. Состав отходов МПКО приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Состав отходов, захороняемых на полигоне МПКО

Вид отходов	Влажность	Хлориды	Сульфаты	Общий азот	Оксид кальция	Гидроксид магния	Органические вещества	Общий хром	рН
	%								
Ил очистных сооружений	75	–	–	1	3	2	12	1	8
Зола после сжигания	1	1,8	4,5	–	15	14	–	11	11,5

Для контроля качества грунтовых вод, глубина залегания которых 3,43–5,21 м, оборудовано 5 наблюдательных скважин глубиной 7,1–12,3 м, наблюдения по которым ведутся с 1991 года (скважины 2, 3, 5) и с 1999 года (скважины 6, 8). Скважины расположены на расстоянии 10–17 м (1-й пояс) и 25–30 м (2-й пояс) от северной границы полигона. Направление грунтового потока – северное.

Анализ качества грунтовых вод за 15-летний период наблюдений позволил выявить закономерности во времени и по площади:

• наиболее высокая, зачастую превышающая ПДК минерализация (600–1390 мг/л) наблюдалась в период с 1992 по 2002 год (скважины 2-р и 3-р). С 2000–2002 годов, когда прекратилось складирование шламов на заполненную отходами первую карту, общая минерализация воды снизилась до 285–690 мг/л. В 2005–2007 годах в этих скважинах вновь отмечается повышение минерализации до 580–1200 мг/л. В районе скважины 5-р наблюдается та же закономерность колебаний минерализации во времени, однако на более низком уровне концентраций – от 500–1012 мг/л в 1991–2000 годах до 190–500 мг/л в 2000–2004 годах и 586–832 мг/л в 2005–2007 годах;

• грунтовые воды из скважин 2-р, 3-р, 5-р имеют превышения ПДК по аммонии (NH_4), железу ($\text{Fe}_{\text{общ}}$), оксиду кремния (SiO_2), окисляемости и общей жесткости, причем в скважине 5-р концентрации этих ингредиентов несколько ниже, чем в скважинах 2-р и 3-р;

• грунтовые воды в районе скважин 6-р и 8-р по большинству ингредиентов отвечают нормативам, но имеют превышения ПДК по железу, реже по аммонии и окисляемости;

• из микроэлементов в грунтовых водах отмечаются очень высокие, превышающие ПДК в несколько раз концентрации марганца (0,3–9,4 мг/л при ПДК 0,1) и бария (0,019–0,233 мг/л при ПДК 0,1). Остальные микроэлементы – на рубеже фоновых или немного превышают фоновые значения для данной местности. Высокое содержание органических веществ в отходах (12 %, таблица 5), по-видимому, препятствует их мобильности и поступлению в водную среду.

Полигон промтоходов «Прудиче». Расположен в 1,3 км к югу от кольцевой дороги г. Минска. Ближайшие населенные пункты пос. Колядичи и д. Климовичи удалены от полигона на 0,8 и 1,2 км соответственно.

Полигон расположен в пределах южной гряды Минской возвышенности. На севере от полигона проходит узкая долина глубиной 7–12 м, являющаяся долиной стока поверхностных вод, которая на западе соединяется с долиной небольшой речки Сенницы.

Под объект использованы карьеры, оставшиеся после разработки месторождения песчано-гравийной смеси. Начало эксплуатации полигона – 1968 год. Площадь земельного отвода 21,9 га. Площадка имеет вытянутую в субширотном направлении форму линзы размером 950×290 м. Рабочая зона полигона определяется максимально возможной площадью бывших карьеров и составляет около 19 га. В настоящее время бывшие карьеры полностью заполнены отходами до уровня бровки, а в западной половине полигона на площади до 9 га отходы образуют отвал высотой 10–12 м.

На полигон вывозят свои отходы около 500 предприятий и учреждений. Годовой объем поступления отходов 530 тыс. м³, или 427 тыс. т, значительную часть которых составляют строительный мусор, отходы керамического производства, бетона, железобетона, лом кирпича шамотного, отходы переработки древесины (которые нельзя использовать в качестве вторичного сырья). В больших объемах на полигон попадают и специфические отходы: от регенерации и разложения СОЖ, ил активный из очистных сооружений, шламы осветления, отходы формовочных смесей, известь-недопал, осадки из отстойников после реагентной обработки, другие промышленные отходы – более чем 500 наименований.

В массе отходов экологоопасные слагают: около 14 % – 4-го класса опасности и 1,5 % – 3-го класса опасности. В данном исследовании не учитывался состав отходов на полигоне, так как невозможно получить усредненную пробу, представленную пропорционально захороняемым объемам.

Геолого-гидрогеологические условия. Основной разрез сверху вниз представлен следующими отложениями (рисунок 4):

- лессовидными супесями и суглинками мощностью более 2 м;
- флювиогляциальными песками с содержанием гравия, гальки, валунов до 50 % мощностью до 13,8 м;
- моренными супесями и суглинками мощностью 12–16 м;
- межморенными песками обводненными мощностью 6–9 м и более.

Грунтовые воды встречены на глубине 4,65–8,00 м (абс. отм. ~192 м). Пластовые напорные воды наблюдательными скважинами вскрыты на глубине 18–21 м (абс. отм. 175–176 м).

В 30 м к северо-западу от полигона вырыт котлован глубиной 4–5 м, дно которого постоянно закрыто водой. Накопление воды происходит как за счет атмосферных осадков и поверхностного стока, так и за счет грунтового подтока. Опробование этой воды (2000 год) показало, что общая минерализация повышена относительно гидрохимического фона (307 мг/дм³), значительно превышают гидрохимический фон грунтовых вод концентрации Na, Ca, SO_4 , отмечено превышающее ПДК значение окисляемости (12,1 мг O_2 /дм³). Из микроэлементов среднее фоновое содержание превышают Cr, Pb, Cu, Mo, Zn, Co; превышений ПДК не наблюдается.

О весьма незначительном загрязнении грунтовых вод свидетельствует также опробование воды из пробуренной нами скважины (глубиной 9 м) вблизи наблюдательной скважины 2. По

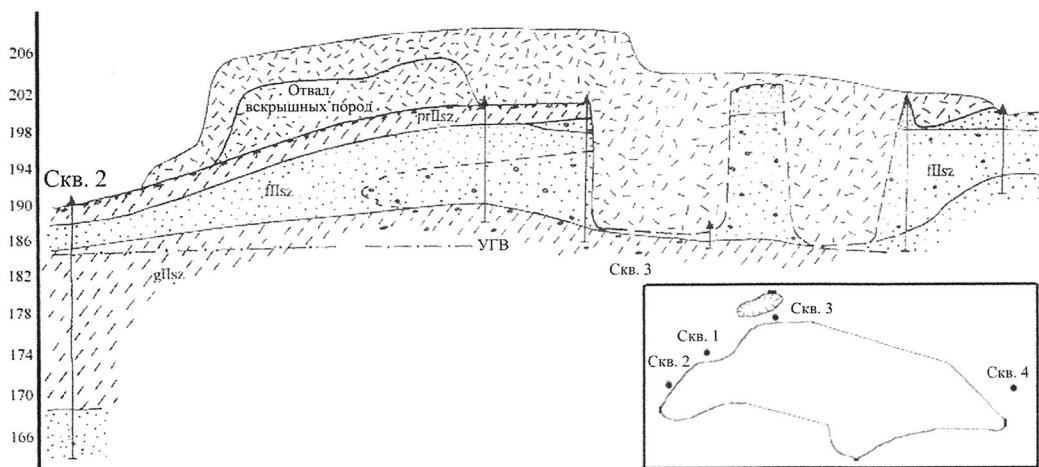


Рисунок 4 – Картосхема полигона отходов «Прудичье» и его геологический разрез.

химическому составу, в том числе по величине окисляемости, проба воды отвечает гигиеническим нормативам.

Наблюдения за межморенными подземными водами ведутся по 4 скважинам, пробуренным у западной, северо-западной и северо-восточной окраин отвала отходов. За период наблюдений с 1996 по 2008 год не отмечено превышений ПДК в макрокомпонентном составе, кроме Fe. Воды имеют минерализацию 140–600 мг/дм³, слабощелочную реакцию (рН 7,5–8,5), окисляемость 2,05–4,30 мгО₂/дм³. Из микроэлементов отмечено превышение ПДК по Mn и Cd. Все эти микроэлементы в соединениях или элементарном виде присутствуют в захороняемых отходах, а также в удобрениях и средствах защиты растений, применяемых на прилегающих полях. Динамика изменения концентраций ингредиентов во времени не наблюдается, хотя в отдельные периоды отмечены их колебания.

Для сравнительной оценки химического загрязнения подземных вод на изучаемых объектах по результатам локального мониторинга за 9–11 лет определены коэффициенты концентрации химических веществ (отношения средних фактических значений ингредиентов к их ПДК) и подсчитаны суммарные показатели загрязнения по каждой скважине (таблица 6).

Таблица 6 – Коэффициенты концентрации химических веществ в подземных водах объектов с отходами

Объект	Хлориды	Сульфаты	Сухой остаток	Окисляемость	Жесткость	Ni	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn	Cd	Ba	Суммарный показатель загрязнения
Сква. 1 МСА	0,95	0,29	1,36	1,66	1,88	0,16	0,53	0,4	0,8	0,01	0,01	1,77	2,02	0,83
Сква. 2 МТЗ	0,31	0,11	0,58	0,58	1,24	0,12	0,72	0,3	0,95	0,01	0,01	0,8	1,54	0,48
Сква. 3 МТЗ	0,61	0,04	2,05	31,53	0,67	0,68	1,31	3,16	2,42	0,08	0,03	6,4	2,02	3,92
Сква. 2 МПКО	0,21	0,2	0,72	1,58	1,34	0,89	6,82	0,32	0,82	0,01	0,01	1,8	0,97	1,2
Сква. 3 «Прудичье»	0,08	0,01	0,21	0,5	0,7	0,1	0,43	0,23	0,12	0,02	0,01	0,43	0,26	0,24

При этом на полигонах «Прудичье» и ОАО «МПКО» выбраны скважины с наиболее загрязненной водой, а на полигоне РУП «МТЗ» – все три скважины, так как загрязнение воды в них происходит от разных источников.

В приведенной таблице 6 значения выше 1 соответствуют концентрациям ингредиентов, превышающим ПДК. Таким образом, из определяемых компонентов наиболее общими показателями химического загрязнения подземных вод от промышленных отходов являются нараст-

воримый остаток, жесткость, окисляемость, марганец, хром, свинец, кадмий, барий; от илов полей фильтрации, кроме того, хлориды.

Суммарный показатель химического загрязнения (сумма коэффициентов концентраций) характеризует степень воздействия полигона на подземные воды и может быть использован как один из показателей экологического риска, исходящего от полигонов. По степени его возрастания подземные воды на рассматриваемых объектах ранжируются следующим образом:

- полигон «Прудитце» – 0,24;
- полигон РУП «МТЗ» (скважина 2) – 0,48;
- поля фильтрации МСА (скважина 1) – 0,83;
- полигон ОАО «МПКО» – 1,20;
- полигон РУП «МТЗ» (скважина 3) – 3,92.

Заключение

Характер и степень загрязнения подземных вод отходами производства зависят от состава, физико-химических свойств отходов и особенностей строения геологической среды, с которой отходы контактируют. При отсутствии искусственных противофильтрационных экранов геологическая среда выполняет защитные функции и рассматривается как геохимический барьер, препятствующий проникновению фильтрата в подземные воды. В этой связи существенную роль играет геологическое строение площадки, главным образом наличие водоупора в основании полигона, его мощность, литологический состав, фильтрационные свойства пород, глубина залегания подземных вод и пр.

Так, на полигоне «Прудитце» мощность относительного водоупора (суглинки, супеси) 12–16 м; на полигоне РУП «МТЗ» (скважина 2) мощность водоупора, сложенного в основном песками и супесями, составляет 16 м плюс толща твердых отходов завода мощностью до 8–10 м. При сравнительно одинаковых глубинах залегания водоносного горизонта (20–25 м) индексы загрязнения пластовых вод относительно низкие. В районе полей фильтрации (скважина 1) захоронены не твердые отходы, а пастообразные илы и при аналогичных со скважиной 2 геологических условиях загрязнение подземных вод происходит гораздо интенсивнее. В районе скважины 3 полигона РУП «МТЗ» мощность относительного водоупора сокращается до 5 м, к тому же он подпирает снизу загрязненные поверхностные воды из водоема. Поэтому из рассматриваемых случаев индекс загрязнения подземных вод в этой скважине самый высокий. Относительно высокий индекс загрязнения подземных вод в районе полигона ОАО «МПКО» обусловлен небольшой глубиной их залегания и фактически отсутствием водоупорного слоя между основанием полигона и грунтовыми водами.

При отсутствии искусственной изоляции отходов и недостаточности геологических барьеров на пути проникновения загрязняющих веществ в подземные воды (высокие фильтрационные свойства пород и др.) роль искусственных барьеров способны выполнять отходы производства, в составе которых преобладает минеральная (алюмосиликатная и силикатная) составляющая, идентичная естественным грунтам. Глинистое вещество при этом сорбирует загрязнители, образуя малоподвижные комплексные соединения с микроэлементами, а наличие в отходах соляных примесей (сульфат-, карбонат-, фосфат-ионов) приводит к образованию нерастворимых солей, коагулирующих поровые пространства отходов.

В результате уплотнения отходов и коагуляции пор понижаются водопроницаемые свойства отходов, что ведет к уменьшению количества загрязненных фильтрующихся вод, попадающих в подземные воды и, в свою очередь, загрязняющих их.

Таким образом, твердые отходы производства способны к самоизоляции и вполне могут быть использованы для рекультивационных работ при засыпке карьеров без ущерба для окружающей среды.

Использование отходов производства для засыпки карьеров будет способствовать экономии природных ресурсов (естественных ресурсов), исключая их изыятие в целях рекультивации.

• Список литературы

1. **ГИГИЕНИЧЕСКИЕ** нормативы 2.1.7.12-1-2004. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. – Минск, 2004.
2. **ЕРОШИНА Д.М.** Провести анализ и оценить степень влияния полигона промтоходов на окружающую среду, разработать экологический паспорт полигона: отчет по договору № 8-98 с ПО «Минский тракторный завод» / Д.М. Ерошина, Н.А. Лысухо. – Минск, 1997. – 59 с.
3. **ЗАКОН** Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З. Об обращении с отходами.

4. **ИНСТРУКЦИЯ 2.1.7.11-12-5-2004.** Гигиеническая оценка почвы населенных мест. – Минск, 2004.
5. **НИКАНОРОВ А.М.** Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А.М. Никаноров, А.В. Жулидов. – Л: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
6. **ПЕТУХОВА Н.Н.** Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Природные ресурсы. – 1999. – № 4. – С. 40–49.
7. **САЕТ Ю.Е.** Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
8. **СанПиН 10-124 РБ 99.** Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Минск, 1999.
9. **СанПиН 2.1.7.12-42-2005.** Гигиенические требования к накоплению, транспортировке и захоронению токсичных промышленных отходов. – Минск, 2005.
10. **СанПиН 2.1.7.12-9-2006.** Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых коммунальных отходов. – Минск, 2006.

Поступила 09.02.2010

БелНИЦ «Экология»

Дз.М. Ярошына, А.Л. Дзямідаў, В.У. Ходзін
УЗДЗЕЯННЕ НА ПАДЗЕМНЫЯ ВОДЫ ПАЛІГОНАЎ ПРАМЫСЛОВЫХ
АДХОДАЎ, РАЗМЕШЧАНЫХ У АДПРАЦАВАНЫХ
КАР'ЕРАХ НА ТЭРЫТОРЫІ МІНСКАЙ ВОБЛАСЦІ

Прамысловае і грамадзянскае будаўніцтва непазбежна звязана са здабычай нярудных карысных выкапняў, у выніку чаго ўтвараецца вялікая колькасць адпрацаваных кар'ерных выемак. У той жа час асабліва востра стаіць праблема размяшчэння адходаў вытворчасці і выкарыстання, колькасць якіх з году ў год узраслае. Рост аб'ёмаў адходаў, што ўтвараюцца, вядзе да павелічэння выведзеных з гаспадарчага выкарыстання зямель для размяшчэння на іх палігонаў пахавання і захавання адходаў. З гэтага пункта гледжання адпрацаваныя кар'еры пасля здабычы карысных выкапняў прадстаўляюць вялікі інтарэс. Пры размяшчэнні адходаў у кар'ерах адначасова вырашаюцца праблемы размяшчэння адходаў і рэкультывацыі горных выпрацавак.

Гэтая работа прысвечана вывучэнню ўздзеяння на падземныя воды палігонаў прамысловых адходаў, размешчаных у кар'ерах: палігонаў прамадходаў РУП «Мінскі трактарны завод», ААТ «Мінскае вытворчае гарбарнае аб'яднанне» і «Прудзішча».

Праведзены ў рабоце аналіз паказаў, што цвёрдыя адходы вытворчасці могуць быць выкарыстаны для рэкультывацыі кар'ераў без значнай шкоды для навакольнага асяроддзя. Пры гэтым без шкоды для прыроднага асяроддзя вырашаюцца дзве праблемы – размяшчэнне адходаў і рэкультывацыя горных выпрацовак.

D.M. Yeroshina, A.L. Demidov, V.V. Khodin
INFLUENCE OF INDUSTRIAL WASTE DUMPS DISPOSED IN
ABANDONED QUARRIES ON THE GROUNDWATER IN THE
TERRITORY OF THE MINSK REGION

The economic and civil construction is inevitably associated with mining nonmetallic minerals, which results in numerous quarries appeared in places of former mines. At the same time there is a big problem of disposal of industrial and municipal waste, which amounts increase every year. The growth of waste amounts results in increasing areas of lands removed from agricultural utilization, but used for waste burial. In this context, quarries abandoned after mining are of much interest. The creation of waste landfills in such quarries is the solution of problems of waste disposal and reclamation of mines.

The paper is dedicated to the study of the influence exerted by manufacturing waste dumps disposed in abandoned quarries on the groundwater, and such waste dumps of the Republican Unitary Enterprise «Minsk Tractor Works» (RUE «MTW»), Joint-Stock Company «Minsk Tannery Production Works» (JSC «MTPW») and «Prudishche» are described.

The results of the analysis performed suggest that the solid industrial waste can be used for reclamation of mine quarries without unfavourable effect upon the environment. With this, both waste disposal, and mine reclamation problems will be solved.